

MANUFACTURE OF COMPACTED GRAPHITE CAST IRON

VÝROBA LITINY S ČERVÍKOVITÝM GRAFITEM

J. ŠENBERGER¹, A. ZÁDĚRA²

ABSTRACT: Compacted graphite cast iron is a prospective material at present particularly in automobile industry. Compacted graphite cast iron is very interesting construction material that forms with its properties a transition between higher mechanical properties of spheroidal graphite cast irons and more advantageous foundry properties of lamellar graphite cast irons.

KEY WORDS: compacted graphite cast iron, mechanical properties, manufacture

KLÍČOVÁ SLOVA: litina s vermikulárním grafitem, mechanické vlastnosti, výroba

1 ÚVOD

Litina s červíkovitým grafitem nazývaná též jako litina vermikulární je moderní materiál jehož výroba ve světě každým rokem roste a je v současnosti používána velice často zejména v automobilovém průmyslu. Použití této litiny je např. pro odlitky bloků motorů výkonných dieselových motorů nákladních automobilů, kde se po zapálení směsi ve válci zvyšuje tlak až na 20MPa [1]. Při takto vysokém namáhání již odlitky z litiny s lupínkovým grafitem nedostačují. Náhrada litiny s lupínkovým grafitem litinou vermikulární umožní zvýšené namáhání odlitků a to při zachování dobrých slévárenských vlastností a současně zajistí i vyšší tepelnou vodivost. Útlum mechanických kmitů v litině s vermikulárním grafitem, je lepší než kdyby byla použita litina s kuličkovým grafitem. Litina s červíkovitým grafitem je proto z hlediska mechanických, fyzikálních, slévárenských a fyzikálních vlastností přechodovým typem mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Slévárenská technologie se blíží litinám s lupínkovým grafitem a mechanické vlastnosti litinám s kuličkovým grafitem. Tento typ litin není v současnosti v české normě uveden a používá se proto značení podle ÖGI (Österreich Giesserei Institut) nebo norem ASTM (CGI) [2].

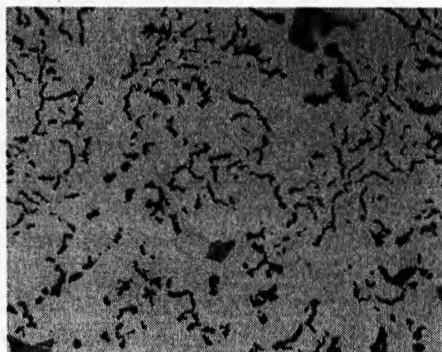
Podle prvních informací by se mohlo zdát, že je litina s červíkovitým grafitem materiálem novým a jen sporadicky technicky využívaným. Počátky výroby tohoto materiálu souvisí s objevem litiny s kuličkovým grafitem, jejíž výroba byla patentována ve Velké Británii v roce 1946. Během několika dalších let se začaly objevovat první náznaky využití také litiny s červíkovitým grafitem. Jak ukazují některé publikace, např. [3], tak s prvními pokusy o využití tohoto materiálu začaly v USA v koncernu Ford již na konci šedesátých let. Od té doby se odlitky z litiny s vermikulárním grafitem začali využívat nejen v koncernu Ford ale i v Evropě v odlitcích firmy Mann apod. V České republice s vývojem a výrobou litiny s červíkovitým grafitem začali ve slévárně Liaz. Bohužel po ukončení její výroby v tomto podniku na jejich výrobu nikdo v České republice nenavázal a český slévárenský průmysl tak možná zcela promeškal zajistit si např. i v dnešních krizových dobách zajímavý a rentabilní materiál a daný segment odlitků.

¹ doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc. – FSI, VUT v Brně, ÚST, odbor slévárenství

² Ing. Antonín Záděra, Ph.D. – FSI, VUT v Brně, ÚST, odbor slévárenství

2 SLOŽENÍ, STRUKTURA A VLASTNOSTI MATERIÁLU

Grafit u tohoto typu litin tvoří červíkovité útvary, které jsou oproti lupínkům kratší a tlustší a jsou na koncích zakulacené viz **obr. 1**. Červíkovité útvary jsou vůči lupínkům více kompaktnější a působí také menším vrubovým účinkem na kovovou matici jak grafit lupínkový [4]. Změny tvaru grafitu se dosahuje modifikací. Tato litina bývá v současné době označována podle kompaktnějšího tvaru grafitu též jako litina s kompaktním grafitem, což vyplývá i z anglického označení CGI – Compacted Graphite Iron.



Obr. 1 – Struktura litiny s červíkovitým grafitem, zvětšení 100x

Litina s červíkovitým grafitem není v systému evropských norem normalizována. Od roku 2002 je však k dispozici německá norma VDG-Merkblatt W 50, která je tvořena podle systému evropských norem a je plánováno její schválení jako normy evropské. Struktura litiny je v závislosti na chemickém složení, rychlosti ochlazování a obsahu nečistot (S, P) feritická až perlitická. Norma VDG-Merkblatt W 50 rozlišuje 5 značek litiny s červíkovitým grafitem viz **tab. 1**.

Tab. 1 – Normované značky litiny s červíkovitým grafitem dle VDG-Merkblatt W 50

Označení litiny značkou	Pevnost v tahu R_m [MPa] min.	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa] min.	Tažnost A [%] min.	Tvrdost HBW 30
EN-GJV-300	300-375	220-295	1,5	140-210
EN-GJV-350	350-425	260-335	1,5	160-220
EN-GJV-400	400-475	300-375	1,0	180-240
EN-GJV-450	450-525	340-415	1,0	200-250
EN-GJV-500	500-575	380-455	0,5	220-260

V **tab. 2** je uvedena struktura a základní mechanické vlastnosti litin uvedených v **tab. 1** [5]. Mechanické vlastnosti uvedené v **tab. 2** jsou měřené na odděleně litych vzorcích a vyrobené mechanickým obráběním. V litině s červíkovitým grafitem je vždy kromě grafitu ve formě červíků přítomen určitý podíl kuličkového, příp. i lupínkového grafitu. Výskyt vysokého podílu lupínků je zpravidla nežádoucí, protože dochází ke snížení tažnosti a houževnatosti. Naopak vysoký podíl kuličkového grafitu pevnost a tažnost zvyšuje, ale současně s tím zvyšuje i sklon ke vzniku staženin a snižuje tepelnou vodivost. Z hlediska mechanických vlastností je dosahováno u litiny s červíkovitým grafitem vyšších pevností než u litiny s lupínkovým grafitem, běžně 300–500 MPa při tažnosti 2–7%. Malými přísadami legujících prvků stabilizujících perlitickou základní hmotu (bez výskytu lupínkového grafitu) je možno dosáhnout pevností v tahu 500 až 600 MPa.

Mechanické vlastnosti jsou silně ovlivněny podílem kuličkového, příp. lupínkového grafitu. Maximální podíl jednotlivých forem grafitu je proto zpravidla předepisován. Tvrdost litin s červíkovitým grafitem se v závislosti na struktuře, složení, tloušťce stěny odlitku a tepelném zpracování pohybuje v rozmezí 130 až 280 HB. Zkoušky mechanických hodno+ se provádí stejně jako u litin s kuličkovým grafitem. Österreich Giesserei Institut uvádí ve své směrnici [5] vlastnosti litin s vermikulární grafitem v **tab. 2**.

Chemické složení litin s červíkovitým grafitem je z hlediska grafitizační schopnosti posuzováno podle stupně eutektičnosti. Chemické složení, tj. zejména obsah uhlíku a křemíku, je voleno tak, aby litina měla přibližně eutektické složení, příp. byla mírně nadeutektická. Hodnota uhlíkového ekvivalentu

se u těchto litin pohybuje přibližně v rozmezí C_E cca 4,2–4,4. S rostoucím uhlíkovým ekvivalentem dochází k poklesu pevnosti a meze kluzu stejně jako je tomu u litin s kuličkovým či lupínkovým grafitem.

Tab. 2 – Vlastnosti litiny s červíkovitým grafitem

Označení	GGV–30	GGV–40	GGV–50
Základní kovová hmota	Ferit	Ferit+perlit	Perlit
Nejmenší pevnost v tahu R_m [MPa]	300	400	500
Smluvní mez v kluzu R_{p02} [MPa]	240	280	340
Pevnost v ohybu [MPa]	600	700	
Pevnost v tlaku [MPa]	500	600–1200	min.1000
Tažnost A_5 [%]	2	1–2,5	min. 0,5
Tvrdost HB 30	130–190	190–280	240–280
Rázová práce při 20°C A_b [J]	15–35	6–10	6–10
Vrubová houževnatost při 20 °C AISO-V [J]	3–6	až6	až6
Modul pružnosti E [GPa]	130–160	150–160	min.170
Součinitel teplotní roztažnosti a [K^{-1}]	$11 \cdot 10^{-6}$	$(11-13) \cdot 10^{-6}$	$(11-13) \cdot 10^{-6}$
Hustota [$kg \cdot m^{-3}$]	7000	7100	7100

Podle [4] se obsah uhlíku pohybuje v rozmezí cca 3,2 – 3,6%. Vyšší obsah uhlíku vede k větší grafitační expanzi a může tedy snížit objemové změny během tuhnutí a snížit i celkovou poróznost odlitku. Z tohoto pohledu je vhodné volit obsah uhlíku při běžném sortimentu odlitku spíše na horní hranici. U masivnějších odlitků s delší dobou chladnutí je možné volit obsah uhlíku nižší.

Obsah křemíku se v litinách s červíkovitým grafitem pohybuje v rozmezí cca 2,5–3,0% a volí se podle požadovaného uhlíkového ekvivalentu a daného obsahu uhlíku. Běžně se obsah křemíku pohybuje při výrobě odlitků z litiny s červíkovitým grafitem v rozmezí 2,5–2,7%. Křemík je feritotvorný prvek, který tvrdost a pevnost feritu zvyšuje. Současně s tím zvyšuje i tranzitní teplotu a proto nejsou litiny s červíkovitým grafitem příliš vhodné pro dynamicky namáhané odlitky pracující za nízkých teplot.

Mangan je perlitotvorný prvek, který se při výrobě litiny s vermikulárním grafitem pohybuje cca do 0,5%. Podle některých údajů [6] se doporučuje, aby obsah manganu nepřesahoval cca 0,3%. V litině s červíkovitým grafitem je velmi nízký obsah síry podobně jako v litině s kuličkovým grafitem a proto nemá mangan funkci vázat síru. Použití manganu pro zvýšení podílu perlitu může činit potíže i při zpracování vratného materiálu. Výroba litiny s červíkovitým grafitem je často prováděna společně s výrobou litiny s kuličkovým grafitem. Použití manganu do vsázky by vyžadovalo pečlivě třídit vratný materiál, aby nedošlo k zvýšení obsahu manganu také v litině s kuličkovým grafitem a to zejména s feritickou strukturou. Pro zvýšení podílu perlitu je možné používat podobně jako v litině s kuličkovým grafitem legování měďí.

Obsah fosforu a síry je v litinách s červíkovitým grafitem obdobný jako v litinách s kuličkovým grafitem. Doporučuje se používat vsázku s co nejnižším obsahem fosforu, optimálně méně než 0,04 %.

Obsah síry je v litinách s červíkovitým grafitem nízký a je určen především použitým modifikátorem, zpravidla koncentrací hořčíku.

Důležitou fyzikální vlastností sledovanou u litiny s červíkovitým grafitem je tepelná vodivost, která je jen o něco menší než u LLG, ale lepší než u LKG. Litina s červíkovitým grafitem je často používána u součástí, kde vyjma mechanických vlastností je vyžadována i vysoká tepelná vodivost a útlum jako např. u bloků motorů nákladních automobilů. Schopnost tlumení kmitů je na úrovni mezi litinami s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Vzhledem k vyšší pevnosti ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem a dobré tepelné vodivosti je litina s červíkovitým grafitem považována za ideální materiál pro cyklické tepelné namáhání (nelegovaná do 500 °C a nízkolegovaná až do 650 °C) a namáhání tepelnými šoky, kde u litiny s lupínkovým grafitem vznikají praskliny a u litiny s kuličkovým grafitem trvalé deformace.

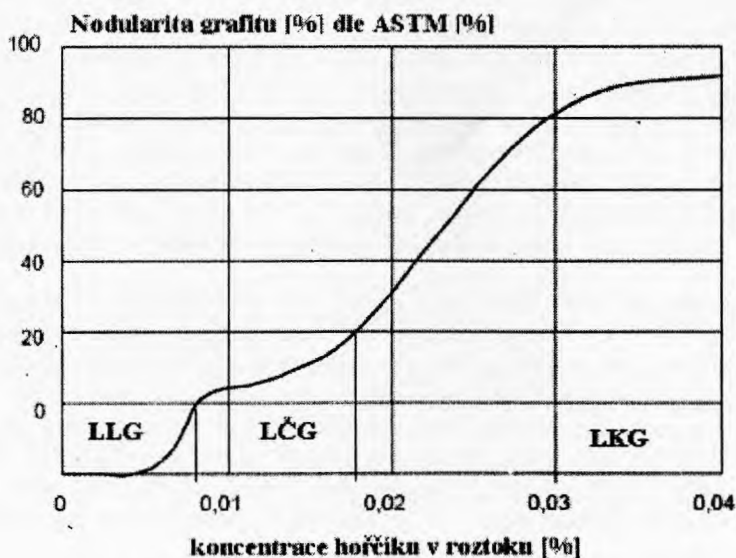
Sklon ke vzniku staženin je u litiny s červíkovitým grafitem větší než u litiny s lupínkovým grafitem, ale menší než u LKG. Často se proto užívají k formování odlitků z litiny s červíkovitým grafitem modelová zařízení určená původně pro lité odlitky z litiny s lupínkovým grafitem bez úprav. Menší sklon ke vzniku mikrostaženin umožňuje snadněji než z LKG odlévat i značně složité odlitky, např. hlavy válců. Lineární smrštění odlitků činí 0,5 až 0,9 % obdobně jako u ostatních grafických litin.

3 METALURGIE LITINY S ČERVÍKOVITÝM GRAFITEM

3.1 Modifikace Litiny

Změna tvaru grafitu z lupínkového na červíkovy se dosahuje modifikací litiny podobně jako u litiny s kuličkovým grafitem. Tvar grafitu ve formě červíku lze získat několika způsoby metalurgického zpracování roztavené litiny.

1. „Nižším stupněm“ modifikace, při tzv. zbytkovém obsahu Mg přibližně 0,010–0,020 % je dosaženo vyloučení grafitu ve formě červíků viz obr. 2 [1]. V případě vyššího obsahu hořčíku přechází tvar grafitu na kuličkový, v opačném případě převládá tvar grafitu lupínkový. Dosažení takto nízké a úzké tolerance je metalurgicky dosti náročné a je třeba znát před modifikací i obsah síry. V případě vyššího obsahu síry pak dojde k jejímu vyvázání s hořčíkem a litina pak může obsahovat značný podíl lupínkového grafitu, což je zpravidla nežádoucí. Výhodou této metody výroby litiny s červíkovým grafitem je, že nehrozí růst některých nežádoucích prvků ve vratném materiálu jako např. při použití titanu apod.



Obr. 2 – Vliv koncentrace Mg na morfologii grafitu [1]

2. Použití kombinace modifikace pomocí Mg a přísady deglobulizačních prvků, které zabrání vzniku kuličkového grafitu. Jako deglobulizační prvek je nejčastěji používán titan v rozmezí koncentrací cca 0,08 – 0,15 %. Po jeho přísadě nedochází ke vzniku zrnitého grafitu ani po překročení koncentrace zbytkového hořčíku přes 0,025 %. Obsah hořčíku se udržuje při výrobě na koncentraci cca 0,15 – 0,25%. Optimální přísadu titanu v závislosti na koncentraci hořčíku a také síry je možné stanovit podle vztahu (1) [7]. Titan se do taveniny přidává jako předslitina na bázi FeSiMg-Ti případně obsahuje navíc i další prvky jako Ce, Ca La apod. (Mischmetal). Také možné přidávat do taveniny přidávat Ti jako ferotitan. Přítomnost titanu podporuje ve struktuře tvorbu feritu a současně může vést i ke vzniku nežádoucích karbidů (TiC). Jejich výskyt ve struktuře vede ke zhoršení obrobitelnosti litiny. Vzniku karbidů titanu nelze nikdy zcela zabránit, je možné je však určitým způsobem omezit. Jako možné řešení se nabízí použití kombinované modifikací Mg a Ce. To umožňuje snížit množství přisazovaného titanu a tím i snížit množství vznikajících karbidů.

$$\frac{\%Mg}{(\%S + \%Ti)} \approx 0,15 \quad (1)$$

Podle [8] je možné také negativní účinek titanu omezit legováním dusíkem, kdy dojde k navázání titanu na dusík a nedojde tak ke vzniku karbidů. Dusík je možné do taveniny legovat ve feroslutinách jako např. FeMn apod. Dusík v litině se pak váže nejen na titan ale i hliník.

3. Dalším používaným způsobem výroby litiny s červíkovitým grafitem je modifikace pomocí směsného kovu tzv. Mischmetal. Jedná se o komplexní slitinu na bázi FeSi obsahující navíc větší koncentrace některých prvků jako Mg (cca 3,5%) a dále i více než 12 % stopových prvků (Ce, La apod.). Předslitina může obsahovat také i hliník, vápník nebo titan. Složení některých modifikátorů na bázi směsného kovu jsou uvedeny např. v [6]. Výhodou této metody je snadnější kontrola a řízení výroby. Nevýhodou je vyšší obsah stopových prvků ve vratném materiálu a nutnost pečlivého třídění. Podle [8] je také při použití této metody pro výrobu litiny s červíkovitým grafitem sklon tvořit v silnějších průřezích odlitku kuličkový grafit.

3.2 Vsázka, tavení a konečné metalurgické zpracování

Tavení litiny s červíkovitým grafitem je podobné jako tavení litiny s kuličkovým nebo lupínkovým grafitem. Jako tavící agregát je výhodné použít elektrickou indukční nebo ve slévárnách oceli též obloukovou pec. Výroba litiny s červíkovitým grafitem z kovu nataveného v kuplovně je též možná. Je však nutné důkladně provést předpřívahu kovu tzv. *precondition*. Ta v tomto případě v sobě zahrnuje jednak složení a podíl jednotlivých složek vsázky s nízkým obsahem fosforu a také následně i provést odsíření taveniny před závěrečnou modifikací a očkováním. Výroba litiny s červíkovitým grafitem může být provedena také s využitím prvků sekundární metalurgie, popsané např. v [9], kde byla popsána výroba litiny s kuličkovým grafitem a ADI litiny o vysoké kvalitě z kovu nataveného v kuplovně s využitím pánvové metalurgie.

Jako vsázka pro výrobu litiny s červíkovitým grafitem může sloužit vlastní vratný materiál, surové železo a ocelový odpad s minimálním obsahem síry a fosforu. Podíl surového železa ve vsázce se může pohybovat v rozmezí cca 20 – 40 %, podíl oceli cca 40 % a zbytek vsázky pak tvoří vlastní vratný materiál. Použití zlomkové litiny kvůli neznámému chemickému složení a obsahu možných nečistot se nedoporučuje, podobně jako je tomu při výrobě litiny s kuličkovým grafitem. Požadovaného obsahu uhlíku se dosahuje přísadou nauhličovadel.

Při skladbě vsázky je nutné počítat s křemíkem který do taveniny přechází z modifikátoru a očkovadel, a o toto vnesené množství křemíku snížit jeho obsah ve vsázce. Vzhledem k vyššímu obsahu Si v litinách s červíkovitým grafitem a používání menšího množství modifikátoru oproti modifikaci LKG nečiní růst obsahu křemíku v kovové vsázce takové potíže jako při výrobě LKG. Po úpravě (dolegování) uhlíku, křemíku, příp. manganu a úpravě teploty probíhá odpich. Při odpichu je možné provést očkování a modifikaci tvaru grafitu.

Modifikace probíhá jednou z výše uvedených metod pro dosažení červíkovitého grafitu. V případě použití metody využívající přísady titanu, se titan přidá ve formě směsného kovu při

modifikaci nebo je možné ho přidat do pánve nebo do pece těsně před odpichem. Modifikaci taveniny lze obecně provádět libovolnou modifikační metodou (Sandwich, Tundisch, atd.). Vzhledem k užšímu rozmezí požadovaných koncentrací zbytkového hořčíku však lze doporučit metody, které mají menší rozptyl využití hořčíku, např. metoda plněného profilu nebo některá z ponořovacích metod. K očkování se používají běžná očkovačla na bázi FeSi. V praxi je možné použít i několikastupňové očkování. Lící teploty se u litin s červíkovým grafitem pohybují podle sortimentu odlitků v rozmezí cca 1390 – 1425 °C [7].

3.3 Kontrola metalurgické kvality litiny

Stejně jako při výrobě ostatních typů litin, používá se i u litin s červíkovitým grafitem jako základní kontrola jak v průběhu výroby tak i po provedení konečné metalurgické úpravy kovu (modifikace, očkování) analýza chemického složení. S ohledem na posouzení budoucí struktury v odlitku může být znalost chemického složení, tj. zejména obsah křemíku, uhlíku a prvků jako manganu či mědi dostatečná.

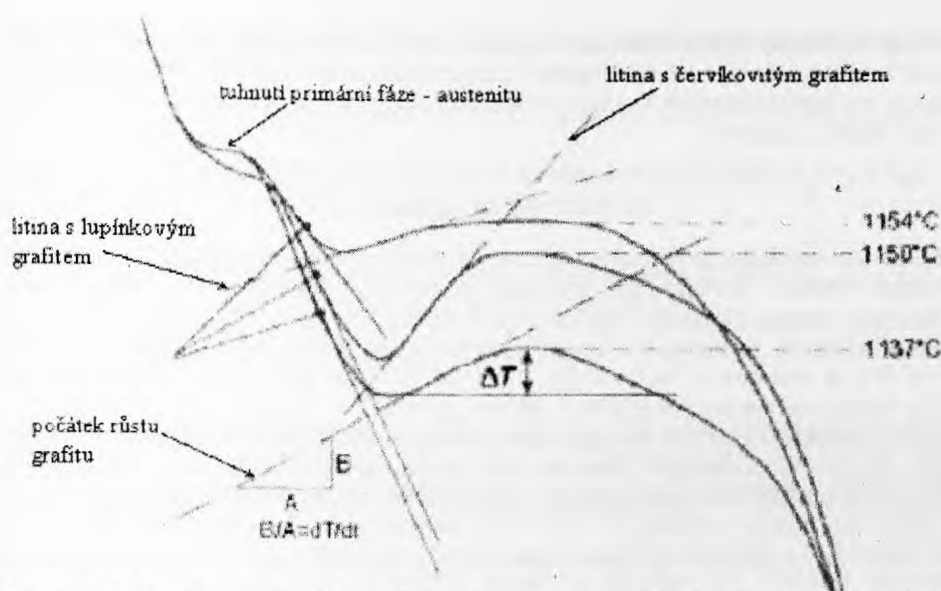
Pro posouzení grafitizační schopnosti litiny a predikce jaká morfologie grafitu v odlitku bude vznikat je pouhá znalost chemického složení nedostatečná. Obsah hořčíku stanovený spektrometricky ze vzorku reprezentuje celkový obsah hořčíku a tedy i obsah hořčíku vázaný v oxidech či sulfidech. Vyšší obsah hořčíku proto nemusí nutně znamenat zrnitý tvar grafitu nebo naopak. Pro posouzení o jaký typ grafitu, resp. morfologii se bude jednat se v dnešní době využívá několika metod:

1. analýza chemického složení kovu
2. termická analýza kovu
3. přímé měření aktivity kyslíku v tavenině
4. provozní zkoušky (ISO, klínová zkouška apod.)

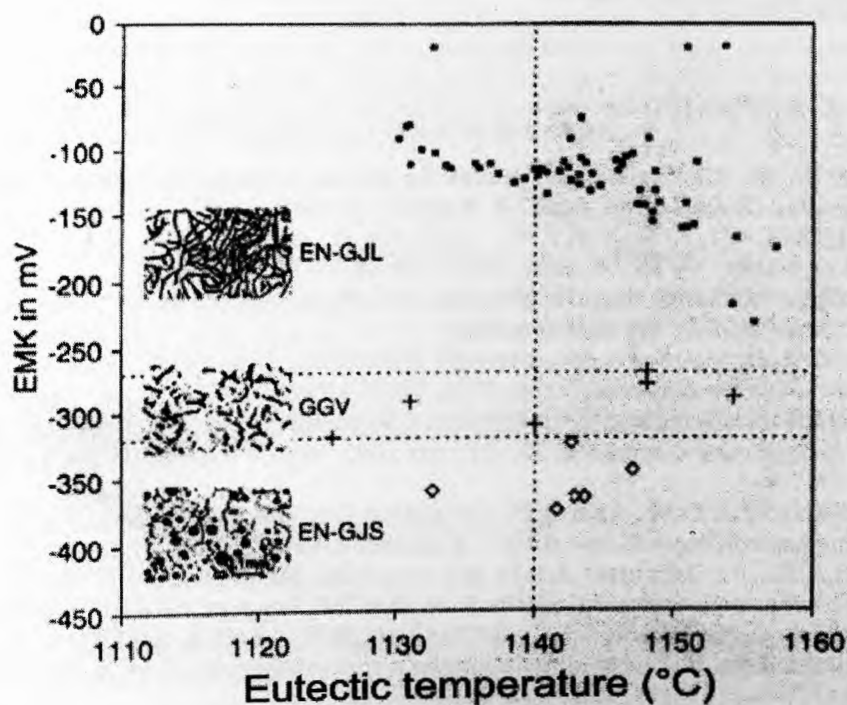
Všechny tyto metody se mohou vzájemně kombinovat a doplňovat. V praxi je dlouhodobě využíváno kombinace použití analýzy chemického složení a technologických zkoušek, např. zákalkové zkoušky. V posledních letech se v českých slévárnách začala i významně využívat metoda termické analýzy litiny. Je to metoda založená na posouzení grafitizační schopnosti litiny a také i predikce morfologie grafitu na základě analýzy křivek chladnutí a tuhnutí litin. To je umožněno tím, že každý typ litiny má pro něj charakteristickou křivku tuhnutí, vyjádřenou jednak podchlazením litiny při tuhnutí vůči rovnovážné teplotě a dále hodnotou rekalescence. Litina s červíkovitým grafitem vykazuje větší podchlazení vůči rovnovážné teplotě než litiny s lupínkovým a naopak menší než litina s kuličkovým grafitem viz **obr. 3**. Současně s tím vykazuje i litina s červíkovitým grafitem největší hodnoty rekalescence.

V současné době je již dobře známa a v některých zahraničních slévárnách i provozně ověřena metoda predikce tvaru grafitu a posouzení grafitizační schopnosti litiny na základě měření aktivity kyslíku. Princip, použití a výhody této metody byly publikovány jak v zahraniční tak i domácí literatuře mnohokrát. Ze zahraničních autorů lze jmenovat např. R. Humera, který hned v několika odborných článcích tuto metodu detailně popsal a vysvětlil např. [10].

Princip této metody spočívá v měření elektromotorického napětí, které se indukuje při měření pomocí koncentračních článků v důsledku rozdílných aktivit kyslíku v referenční směsi koncentračního článku a- v tavenině. Toto elektromotorické napětí, které vzniká v důsledku rozdílu aktivit je možné pomocí známých rovnic přepočítat a určit tak aktivitu kyslíku v tavenině. Určité teplotě a naměřené aktivitě kyslíku lze přiřadit i pravděpodobný tvar grafitu, který bude v litině během tuhnutí vznikat. Na **obr. 4** jsou uvedeny elektromotorická napětí naměřená u jednotlivých typů litin při různých teplotách [10]. Nejnížší elektromotorická napětí a tím i aktivity kyslíku jsou měřeny v litinách s kuličkovým grafitem, nejvyšší napětí pak v litinách s lupínkovým grafitem. Z hlediska aktivity kyslíku a tedy i měřených elektromotorických napětí tvoří litiny s červíkovitým grafitem přechod mezi těmito dvěma typy litin.



Obr. 3 – Křivky chladnutí a tuhnutí litin s lupínkovým a červíkovitým grafitem [1]



Obr. 4 – Naměřené elektromotorické napětí (EMK) v závislosti na druhu litiny a teplotě [10]

Metoda měření aktivity kyslíku v tavenině je v současné době provozně používána ve slévárnách zabývajících se výrobou odlitků z litiny s červíkovitým grafitem pro automobilový průmysl. Její nespornou výhodou je její rychlost, neboť koncentrační články jsou součástí teplotních a kyslíkových sond a údaj o elektromotorickém napětí a aktivitě kyslíku je proto možné stanovit během několika sekund.

Moderní provozy zabývající se výrobou litiny s červíkovitým grafitem dnes proto standardně využívají nejen běžných analýz chemického složení a technologických zkoušek, ale doplňují je i o měření aktivity kyslíku, termickou analýzu a použití slévárenských simulačních programů plnění a tuhnutí.

4 ZÁVĚR

Litina s červíkovitým grafitem je zajímavým konstrukčním materiálem používaným v řadě technických oblastí. Jestliže lze očekávat i v blízké budoucnosti pokles poptávky po jednoduchých odlitcích z běžných nelegovaných ocelí a litin, pak odlitky z litiny s červíkovitým grafitem představují zajímavý sortiment odlitků s vyšší přidanou hodnotou. Její výroba navíc vyžaduje přísné dodržování technologie a značné zkušenosti a nehrozí proto odliv sortimentu odlitků z litiny s červíkovitým grafitem dál na „východ“.

Výroba odlitků z litiny s červíkovitým grafitem, resp. její zavedení do výroby v dané slévárně může v budoucnosti představovat konkurenční výhodu dané slévárny. To však vyžaduje, aby odlitky z tohoto materiálu byly slévárnami čí nejdříve ověřeny a zavedeny do vyráběného sortimentu a současně také byly nabízeny a poptávky realizovány. V opačném případě bude velice obtížné v poptávkovém řízení v budoucnosti v evropské konkurenci uspět.

Práce byla zpracována za finanční podpory Grantové agentury České republiky v rámci projektu reg. číslo 106/08/0789.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LAMPIC, M.: Casting design features for optima usage of CGI, *World Conference on Compacted Graphite Iron*, June 7-8, Ronneby, Sweden, 2001.
- [2] ŠENBERGER, J., STRÁNSKÝ, K., ZÁDĚRA, A., BŮŽEK, Z., KAFKA, V.: *Metalurgie oceli na odlitky*. VUTIUM, 2008, ISBN 978-80-214-3632-9.
- [3] COLE, G.: Marketing opportunities with CGI, *World Conference on Compacted Graphite Iron*, June 7-8, Ronneby, Sweden, 2001.
- [4] ROUČKA, J.: *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR REAL, 1998, 166 s, ISBN 80-214-1263-1
- [5] *Taschenbuch der Gießerei-Praxis*, 2001, ISBN 3 7949 0658 6.
- [6] RÖDTER, H.: Compacted Graphite Iron-CGI-Market – Production. . In *42. slévárenské dny*, mezinárodní konference, 20.-21. září 2005, Brno, Česká republika, s. 36, ISBN 80-214-2967-4.
- [7] STEFANESCU, D.M.: Thin Wall Compacted Graphite Iron Casting, *World Conference on Compacted Graphite Iron*, June 7-8, Ronneby, Sweden, 2001.
- [8] SKALAND, T.: Treatment Alloys and Inoculants for Compacted Graphite Iron, *World Conference on Compacted Graphite Iron*, June 7-8, Ronneby, Sweden, 2001.
- [9] ZÁDĚRA, A., ŠENBERGER, J., ŠAJGAL, J., SLEZÁKOVÁ, R., LÁNA, I.: Sekundární metalurgie litin. In *Teorie a praxe výroba a zpracování oceli*, 3.-4. 4. 2007, Rožnov pod Radhoštěm, s. 187-194, ISBN 978-80-86840-32-1.
- [10] HUMMER, R.: Die Sauerstoffaktivität, ein Qualitätsmerkmal von Gusseisen – ein Überblick mit Hinweisen auf ein neues Anwendungsgebiet. *Giesserei-Rundschau*, 50, H. 9/10, 2003, s. 220-226.